

И. В. Фомихина¹, Ю. О. Лисовская¹, Ю. Г. Алексеев², А. Ю. Королев², В. С. Нисс²

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ ПОЛИРОВКИ РАЗЛИЧНЫХ ЗОН
СЛОЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЯ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ ПОГРУЖЕНИЯ,
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ И СКОРОСТИ ГИДРОПОТОКОВ
ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ***

¹ГНУ «Институт порошковой металлургии» НАН Беларуси, ул. Платонова, 41, 220005, Минск, Беларусь²Белорусский национальный технический университет, пр-т Независимости, 65, 220013, Минск, Беларусь

Исследовано влияние равномерности электролитно-плазменной обработки на структуру, морфологию поверхности, шероховатость модифицированного слоя нержавеющей стали 12Х18Н10Т в зависимости от глубины погружения, пространственной ориентации и скорости гидропотоков.

* Работа выполнена в рамках ГПОФИ «Высокоэнергетические, ядерные и радиационные технологии», задание 3.18

Введение. Исследованию технологии электролитно-плазменной обработки (ЭПО) как высокоэффективного метода повышения качества поверхности, посвящено множество работ [1, 2].

Известно [2], что циклическая знакопеременная подача электролита обеспечивает периодическое изменение направления и скорости потоков в рабочей зоне и способствует интенсивному удалению из рабочей зоны окисных частиц с обрабатываемой поверхности металла. Путем увеличения скорости перемещения электролита относительно поверхности детали возможно активно управлять потоком парогазовых пузырей и толщиной парогазовой оболочки, как основным фактором, влияющим на интенсивность съема. В литературе [3] боль-

шое внимание уделяется технологическим приемам, физике процесса, однако недостаточно описаны вопросы структурообразования и формирования физико-механических свойств поверхностного модифицированного слоя, полученного ЭПО.

В работе исследуется влияние характеристик гидродинамических потоков и анализируется равномерность обработки различных зон сложной поверхности изделия в зависимости от глубины погружения, пространственной ориентации и скорости гидропотоков при проведении ЭПО. Модифицированная поверхность изучается методами сканирующей электронной микроскопии, дюротрии и исследования шероховатости поверхности.

Т а б л и ц а 1. Маркировка плоских (п), цилиндрических (ц) образцов в зависимости от ориентации и глубины погружения в электролит, маркировка плоских образцов без индекса в зависимости от скорости гидропотоков

Номер образца	Глубина погружения, мм	Ориентация в электролите	Скорость гидропотоков, м/с (I = 5 А, U = 300 В)
исходный	—	—	—
1п, 1ц	20	горизонтально	
2п, 2ц	200		
3п, 3ц	400		
4, 4п, 4ц	20	вертикально	3
5, 5п, 5ц	200		4
6, 6п, 6ц	400		5
7п	20	45°	—
8п	200		
9п	400		

Таблица 2. Параметр шероховатости Ra плоских (п) и цилиндрических (ц) образцов в зависимости от глубины погружения и ориентации в электролите

Номер образца	Глубина погружения, мм	Ориентация в электролите	Параметр шероховатости Ra плоских образцов, мкм			Параметр шероховатости Ra цилиндрических образцов, мкм		
			начало	начало	середина	конец	середина	конец
исходный	–	–	0,106			0,117		
1п, 1ц	20	горизонтально	0,049			0,063		
2п, 2ц	200		0,045			0,051		
3п, 3ц	400		0,044			0,047		
4п, 4ц	20	вертикально	0,044	0,051	0,060	0,050	0,056	0,059
5п, 5ц	200		0,044	0,043	0,057	0,046	0,050	0,053
6п, 6ц	400		0,042	0,044	0,054	0,041	0,044	0,047
7 п	20	45°	0,045	0,047	0,048	–		
8 п	200		0,041	0,044	0,046			
9 п	400		0,038	0,040	0,044			

Целью работы является исследование состояния образцов различной формы и анализ равномерности обработки различных зон сложной поверхности изделия в зависимости от глубины погружения, пространственной ориентации в электролите и скорости гидротоков при проведении ЭПО.

Материал и методика исследования. Влияние глубины погружения и пространственной ориентации изделия в электролите на равномерность обработки исследовалось на плоских образцах (30×15×2) и цилиндрических образцах (50×6) из стали 12Х18Н10Т. Ориентация и глубина погружения образцов и скорость гидротоков при ЭПО приведены в табл. 1.

Определение параметров шероховатости поверхности с записью профилограмм проводилось на профилометре-профилографе 252 типа А1 в соответствии с ГОСТ 2789-73. Погрешность измерений 2,5%. Использовался следующий режим съемки: длина трассы ошупывания 1,5 мм, отсечка шага 0,25 мм, скорость движения ленты 60 мм/мин, вертикальное увеличение ×5000, горизонтальное увеличение ×200.

Исследование морфологии поверхности образцов пластин в зависимости от глубины погружения, пространственной ориентации в электролите и скорости гидротоков при проведении ЭПО проводили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) высокого разрешения «Miga» фирмы «Tescan» (Чехия).

Результаты исследования. Определение влияния глубины погружения и пространственной ориентации изделия в электролите на равномерность обработки плоских и цилиндрических образцов на шероховатость поверхности с записью профилограмм представлено в табл. 2 и на рис. 1.

Шероховатость поверхности плоских и цилиндрических образцов при вертикальной ориентации и ориентации с углом наклона 45° аналогична шероховатости при горизонтальной ориентации (см. табл. 2).

Из табл. 2, 3 видно, что ориентация в электролите с различной глубиной погружения

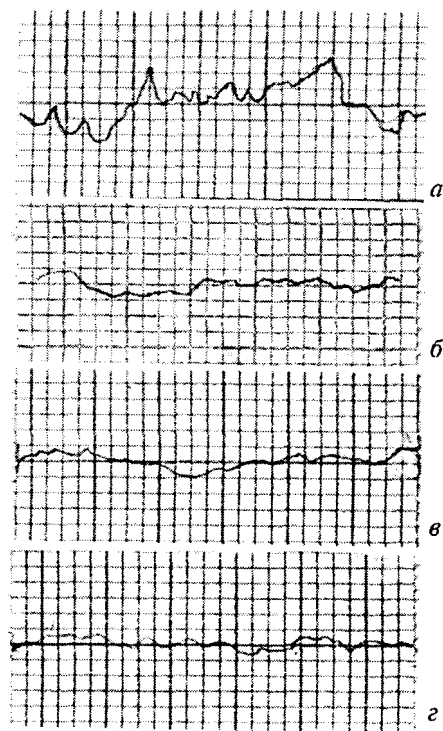


Рис. 1. Шероховатость поверхности плоских образцов из стали 12Х18Н10Т при горизонтальной ориентации в электролите с различной глубиной погружения: а – исходный образец; б – глубина погружения 20 мм; в – глубина погружения 200 мм; г – глубина погружения 400 мм

Таблица 3. Значения параметра шероховатости Ra в зависимости от скорости гидропотоков ЭПО

Номер образца	Скорость гидропотоков, м/с	Параметр шероховатости Ra, мкм	
		Исходный	Полированный
4	3	0,64	0,30
		0,61	0,32
		0,59	0,28
		среднее 0,61	среднее 0,30
5	4	0,62	0,25
		0,58	0,27
		0,60	0,25
		среднее 0,60	среднее 0,26
6	5	0,63	0,23
		0,59	0,22
		0,61	0,22
		среднее 0,61	среднее 0,22

и увеличение скорости гидропотоков ЭПО до 5 м/с приводит к уменьшению параметра шероховатости в 2,5–3 раза. Увеличение глубины погружения при различной ориентации и скорости гидропотоков приводит к сглаживанию и практически полному удалению рельефа (рис. 1, 2).

ДюрOMETрические исследования модифицированных поверхностей, обработанных при различных скоростях гидропотоков проводились на микротвердомере «Micromet II» фирмы «Buehler-Met» (Швейцария) с нагрузкой 50 г.

Результаты дюрOMETрических исследований по стадиям полирования (исходная, переходная, полированная) представлены на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что при увеличении скорости полирования до 5 м/с происходит уменьшение микротвердости в полированной зоне

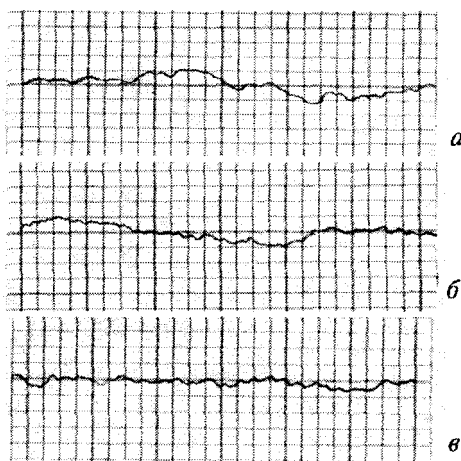


Рис. 2. Шероховатость поверхности образцов пластин из стали 12X18H10T при различной скорости ЭПО: а, б, в – ЭПО со скоростью гидропотоков 3, 4, 5 м/с

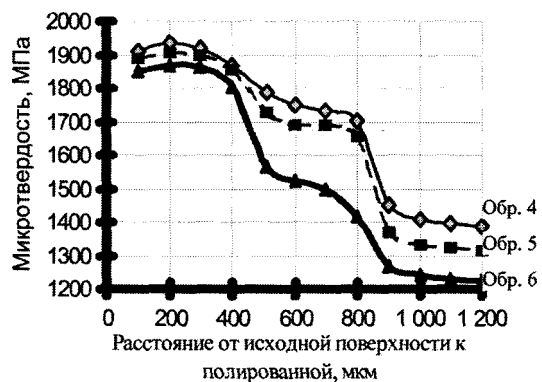


Рис. 3. Графики изменение микротвердости от исходной поверхности к полированной

в 1,5 раза, что на 600 МПа меньше по сравнению с исходным состоянием.

Исследование морфологии поверхности образцов проводили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия) при увеличении $\times 1000$, $\times 5000$, $\times 10000$.

На рис. 4 представлены фотографии морфологии поверхности плоских образцов из стали 12X18H10T при вертикальной ориентации в электролите с различной глубиной погружения на различных участках образца. Изменение морфологии плоских и цилиндрических образцов при горизонтальной ориентации и ориентации с углом наклона 45° аналогичны вертикальной ориентации.

Процесс полирования начинается со снятия грубого рельефа и травления границ зерен. На рис. 4 видно, что с увеличением глубины погружения на участках начала погружения при вертикальной ориентации и ориентации в 45° процесс полировки усиливается, затрагивая субструктурное строение внутри зерна поверхности исходного прокатанного образца, переходя к их сглаживанию (полировке), обозначая границы фрагментов зерен и их кристаллографическую ориентацию. Выявление структуры на поверхности цилиндрических образцов при полировании аналогично полированию поверхности плоских образцов.

На рис. 5 представлены фотографии морфологии поверхности полированных участков после ЭПО со скоростями гидропотоков 3, 4, 5 м/с. На фотографиях видно, что увеличение скорости полирования до 5 м/с приводит к большему сглаживанию, чем при более низких скоростях полирования. Границы зерен становятся практически невидимыми, выявляются фраг-

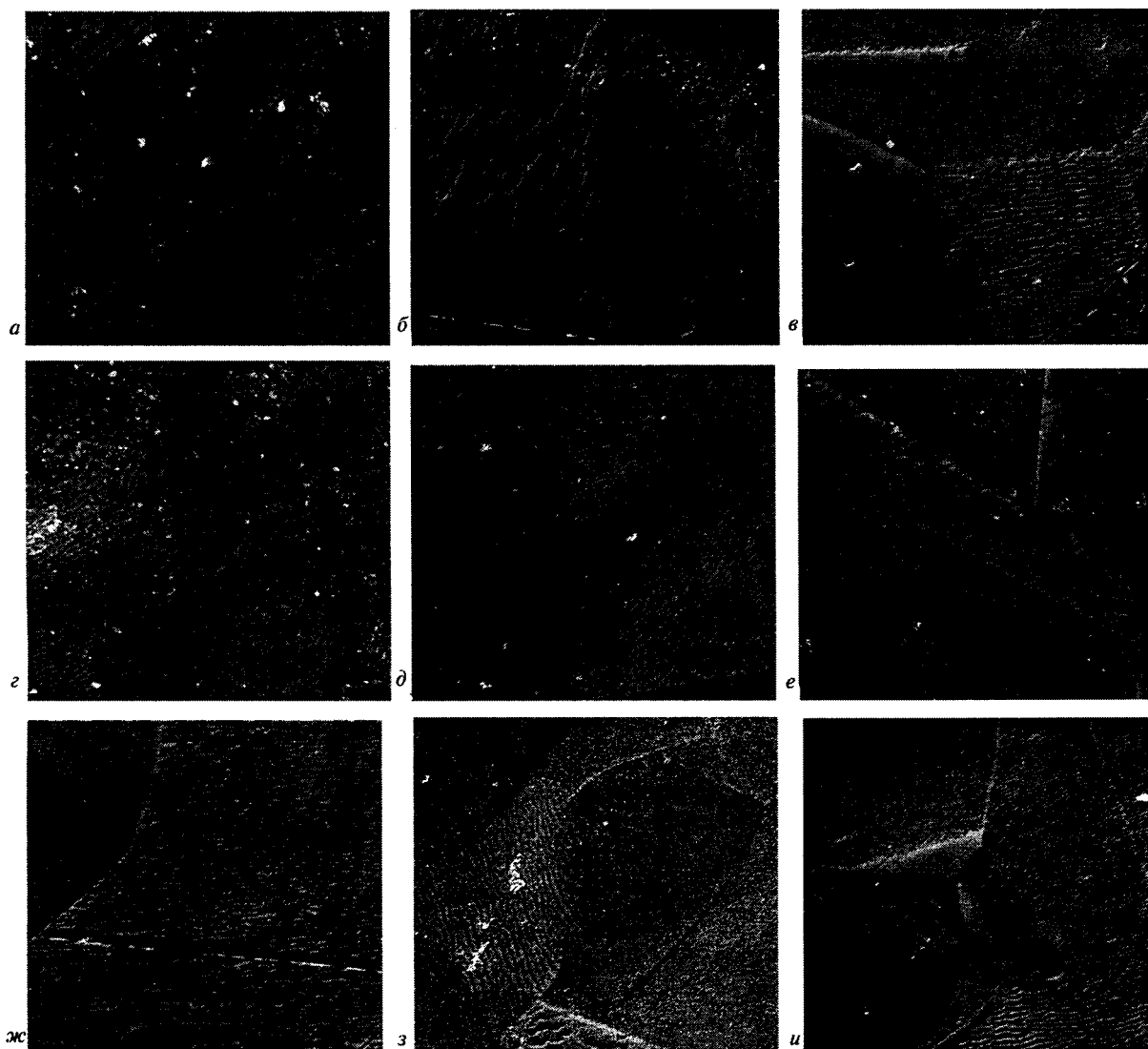


Рис. 4. Морфология поверхности плоских образцов из стали 12X18H10T при вертикальной ориентации в электролите с различной глубиной погружения на различных участках образца, $\times 20000$: *а, б, в* – начало, середина, конец образца при глубине погружения 20 мм; *г, д, е* – начало, середина, конец образца при глубине погружения 200 мм; *ж, з, и* – начало, середина, конец образца при глубине погружения 400 мм

менты тонкого строения внутри зерен, разрешаемые при увеличении выше $\times 20000$.

На рис. 6 даны фотографии, представляющие развитие кинетики процесса полирования в переходной зоне при ЭПО. Из фотографий видно, что процесс полирования на начальной стадии затрагивает границы зерен, как места сосредоточения примесей и дефектов структуры (рис. 6, *а*), затем в процесс полировки вовлекаются грани зерен, причем, в зависимости от кристаллографической ориентации менее дефектные грани сполниваются быстрее (рис. 6, *б*). На более дефектных гранях следы полирования наблюдаются на скоплениях линий скольжения-двойникования (рис. 6, *б, в*).

Проведены измерения толщины съема при погружении в электролит. Определено, что максимальная толщина съема наблюдается при глубине погружения 400 мм и составляет для горизонтальной ориентации 30 мкм для плоских образцов, 50 мкм для цилиндрических. При вертикальной ориентации и ориентации в 45° толщина съема достигает 50 мкм для плоских образцов и 60 мкм для цилиндрических. Геометрия поверхности оказывает влияние на неравномерность протекания процесса ЭПО и сказывается на толщине съема, что подтверждается измерениями, проведенными на инструментальном микроскопе ДИП-1. На большей кривизне поверхности образцов толщина съема увеличивается. Интенсивность (толщина) съема

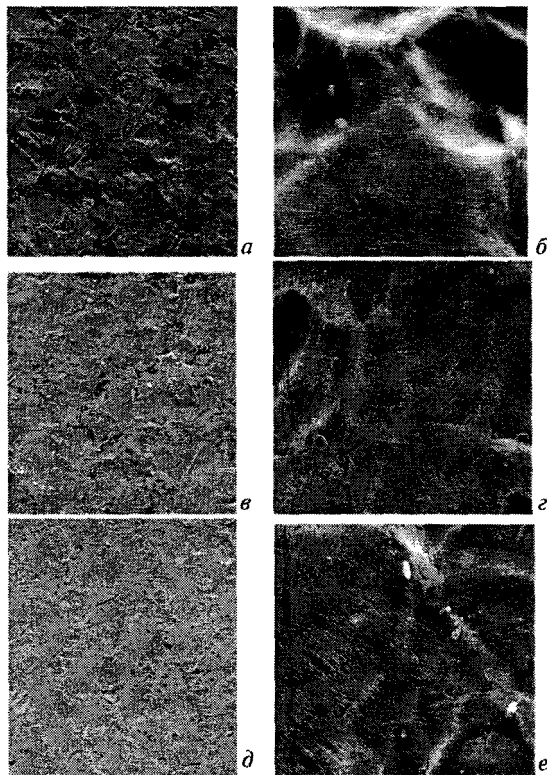


Рис. 5. Морфология поверхности образцов пластин из стали 12X18N10T после ЭПО со скоростями гидротоков 3 м/с (а, б), 4 м/с (в, з), 5 м/с (д, е): а, в, д – $\times 1000$; б, з, е – $\times 20000$

ма при полировании в зависимости от глубины погружения и ориентации в электролите для плоских и цилиндрических образцов представлена в табл. 4.

Заключение

Исследовано изменение морфологии поверхности при полировании в зависимости от глубины погружения, пространственной ори-

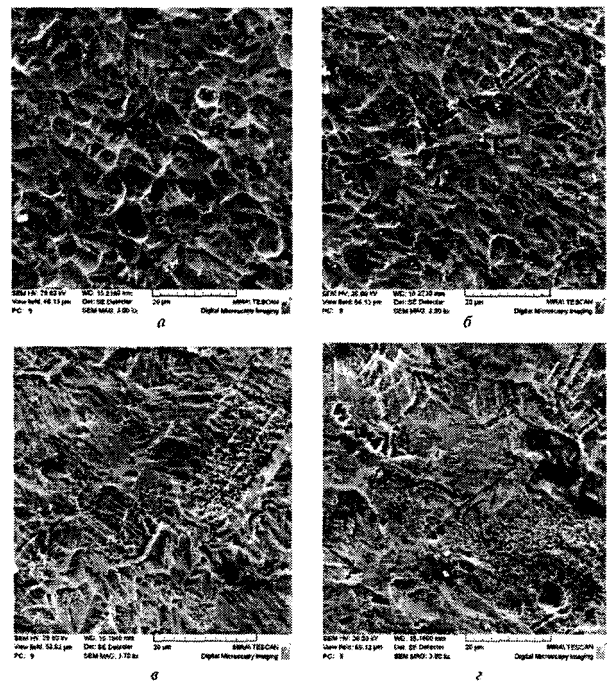


Рис. 6. Кинетика процесса полировки при ЭПО по стадиям в переходной зоне, $\times 3000$: а – начальная стадия; б, в – промежуточная стадия; г – конечная стадия

ентации и скорости гидротоков при обработке в электролите. Выявлено, что процесс полирования начинается со снятия грубого рельефа, травления границ зерен и их сглаживания при начальной стадии полировки, с последующим затрагиванием субструктурного строения внутри зерен, обозначением границ фрагментов зерен и их кристаллографической ориентации на конечных стадиях. Установлено, что полирование при ЭПО на начальной стадии затрагивает границы зерен, как места сосредото-

Таблица 4. Толщина съема плоских (п) и цилиндрических (ц) образцов в зависимости от глубины погружения и ориентации в электролите

Номер образца	Глубина погружения, мм	Ориентация в электролите	Толщина съема плоских образцов, мкм			Толщина съема цилиндрических образцов, мкм		
			начало	начало	середина	конец	середина	конец
исходный	—	—	—			—		
1п, 1ц	20	горизонтально	10			30		
2п, 2ц	200		20			40		
3п, 3ц	400		30			50		
4п, 4ц	20	вертикально	30	10	10	40	30	20
5п, 5ц	200		40	20	20	50	30	25
6п, 6ц	400		50	30	25	60	40	40
7 п	20	45°	30	20	10	—		
8 п	200		40	20	20	—		
9 п	400		50	30	20	—		

чения примесей и дефектов структуры, затем в процесс полировки вовлекаются грани зерен, причем, в зависимости от кристаллографической ориентации менее дефектные грани сползываются быстрее. На более дефектных гранях следы полирования наблюдаются на скоплениях линий скольжения-двойникования. Увеличение скорости полирования до 5 м/с приводит к большему сглаживанию, чем при более низких скоростях полирования. Границы зерен становятся практически невидимыми, выявляются фрагменты тонкого строения внутри зерен, разрешаемые при увеличении выше $\times 20000$.

Выявлено, что ориентация в электролите с различной глубиной погружения и увеличение скорости гидротоков ЭПО до 5 м/с при-

водит к уменьшению параметра шероховатости в 2,5–3 раза и практически полному удалению рельефа.

Проведены дюрOMETрические исследования модифицированных ЭПО поверхностей пластин из стали 12X18H10T. Выявлено, что увеличение скорости полирования до 5 м/с приводит к уменьшению микротвердости в полированной зоне в 1,5 раза, что на 600 МПа меньше по сравнению с исходным состоянием.

Проведены измерения толщины съема при погружении в электролит. Определено, что максимальная толщина съема наблюдается при глубине погружения 400 мм и составляет для горизонтальной ориентации плоских образцов 30 мкм, для цилиндрических – 50 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев М. Г., Минченя В. Т., Есьман Г. А. Ультразвук в технологии машино- и приборостроения/ учеб. пособие для вузов; – Мн.: Тесей, 2003. – 424 с.
2. Киселев М. Г., Минченя В. Т., Ибрагимов В. А. Ультразвук в поверхностной обработке материалов / – Мн.: Тесей, 2001. – 344 с.: ил.
3. Гордиенко Л. К. Субструктурное упрочнение металлов и сплавов / – М.: Наука, 1980. – 224 с.

I. V. FOMIKHINA¹, YU. O. LISOVSKAYA¹, YU. G. ALEKSEYEV², A. YU. KOROLIOV², V. S. NISS²

THE RESEARCH OF ITEM COMPLEX COATING DIFFERENT AREAS POLISHING UNIFORMITY INFLUENCE DEPENDING ON EMBEDDING DEPTH, SPATIAL ORIENTATION AND WATER-STREAMS SPEED AT ELECTROLYTIC AND PLASMA PROCESSING

¹ *State Scientific Institution «Powder Metallurgy Institute» of National Academy of Sciences of Belarus; 41, Platonova, 220005 Minsk, Belarus*

² *Belarussian National Technical University; 65, prospect Nezavisimosti, 220013 Minsk, Belarus*

The electrolytic and plasma processing uniformity influence on coating structure and morphology, on stainless steel 12X18H10T modified layer undulation depending on embedding depth, spatial orientation and water-streams speed was studied.